

Diagnostika vysokoteplotního plazmatu na tokamaku Golem

Jiří Löffelmann, Jakub Takáč, Ondřej Tinka

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT; Břehová 7 - sklep
jira.leflik@gmail.com, jakub.takac404@gmail.com, ondrej.tinka@gmail.com

Abstrakt:

Tento článek popisuje náš experiment na tokamaku GOLEM, při kterém jsme se snažili dosáhnout co nejvyšší elektronové teploty plazmatu. Několika výstřely s různými parametry jsme se snažili zjistit nejlepší nastavení parametrů pro tokamak, abychom dosáhli co nejvyšší teploty.

Úvod

V tomto článku popisujeme tři samostatné výstřely na tokamaku GOLEM. Naším hlavním cílem bylo spočítat elektronovou teplotu plazmatu při každém samostatném výstřelu a dosáhnout co nejvyšší teploty. Toho jsme se snažili docílit různými nastaveními parametrů na tokamaku.

Určování teploty plazmatu

Materiály a metody

Pro měření jsme používali Rogowského pásek, jedno-závitovou cívku, což byl vodič obmotaný kolem toroidální komory, malou cívku a fotodiody. Rogowského pásek jsme osadili na komoru toroidu rovnoběžně s osou toroidu. Na něm jsme měřili časovou derivaci magnetického pole. Integrovaním těchto výsledků jsme zjistili průběh proudu komorou. Na jedno-závitové cívice jsme naměřili průběh napětí v komoře.

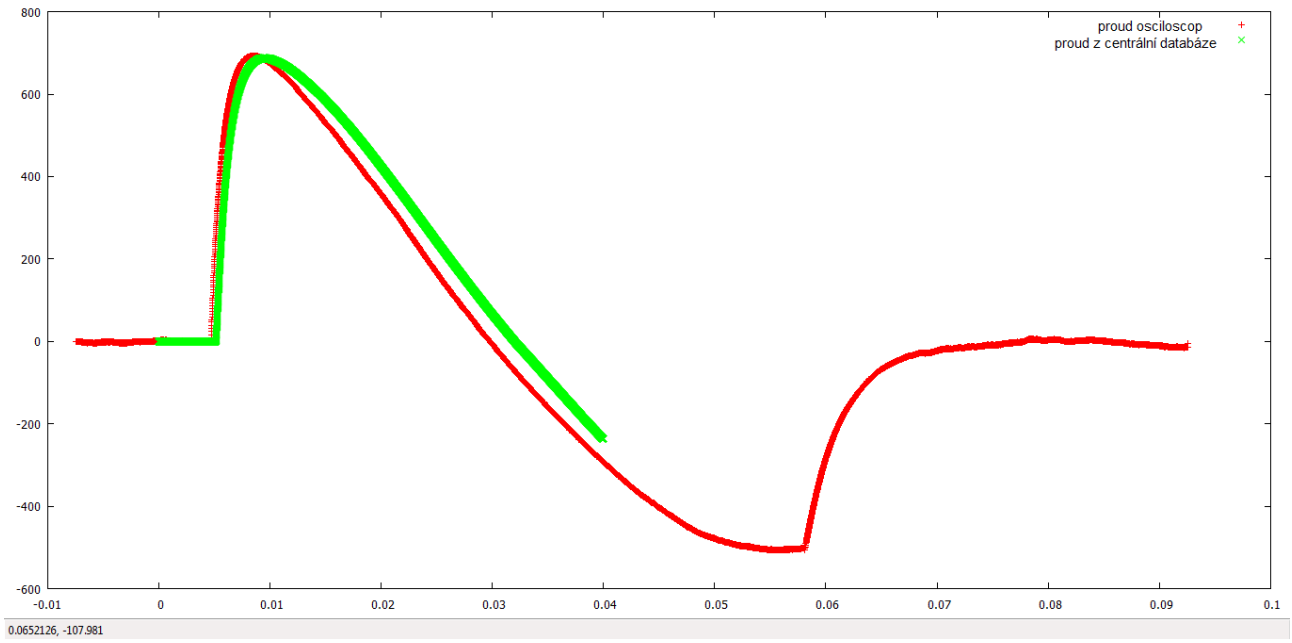
První výstřel jsme provedli bez pracovního plynu. Poté jsme zkalibrovali Rogowského pásek připojený k osciloskopu s Rogowského páskem s daty z centrální databáze, které jsou již zkalibrované. Vydělením průběhu proudu a průběhu napětí jsme zjistili průběh odporu. Očekávali jsme odpor konstantní, ale naše očekávání se nenaplnilo. To bylo způsobeno indukčností Rogowského pásku – odpor se měnil v závislosti na derivaci proudu. Derivace proudu je konstantní v maximu, takže hodnotu odporu jsme zjistili tak, že jsme přečetli hodnotu odporu v čase, kdy byl proud na maximu. Na malé cívice jsme naměřili změnu toroidálního magnetického pole. Po integraci této hodnoty nám vyšla nezkalibrovaná magnetická indukce, kterou jsme se neobtěžovali kalibrovat.

Pomocí fotodiody namířené do komory tokamaku jsme měřili záření vzniklé při průrazu plazmatu. Veškeré tyto hodnoty jsme vykreslovali a upravovali v programu gnuplot. Díky znalosti odporu komory jsme při dalších výstřelech (při kterých již plazma vznikalo) mohli spočítat průběh proudu komorou. Ten jsme poté odečetli od průběhu celkového proudu plazmatem i komorou a tím jsme získali průběh proudu plazmatem. Ze vztahu:

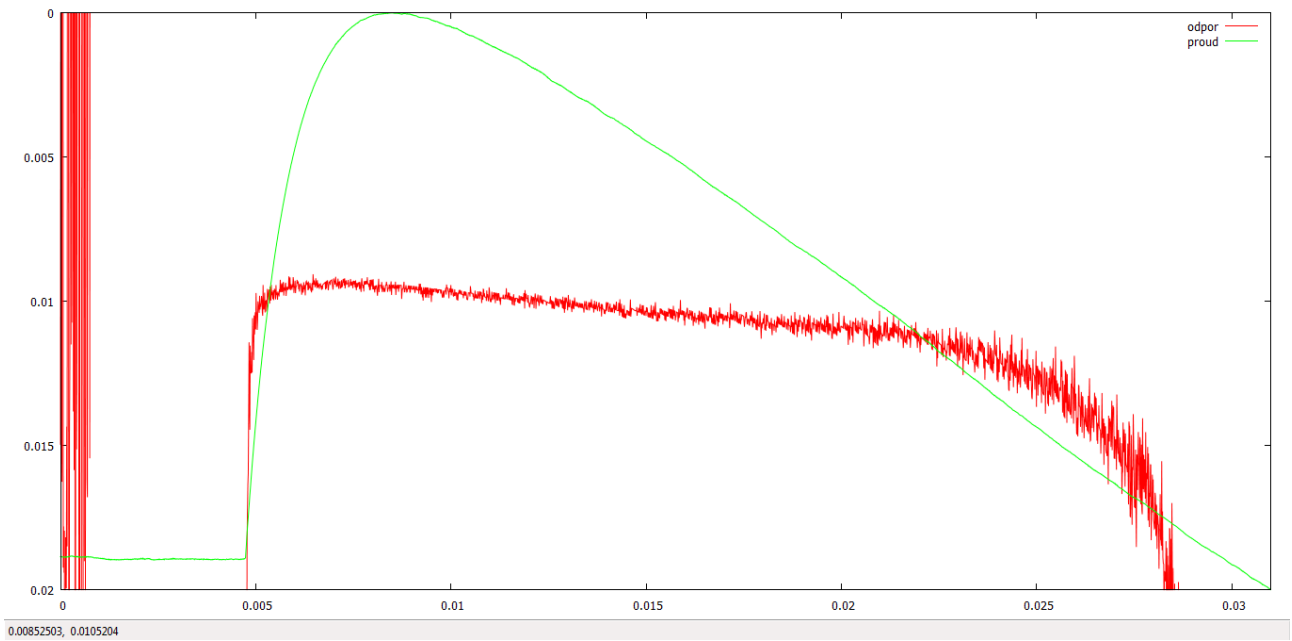
$$T_e = \left(0,7 \frac{I_p(t)}{U_l(t)}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Jsme spočítali elektronovou teplotu plazmatu. V čitateli je funkce proudu plazmatem v závislosti na čase a ve jmenovateli je funkce napětí v závislosti na čase.

Kalibrace hodnot:

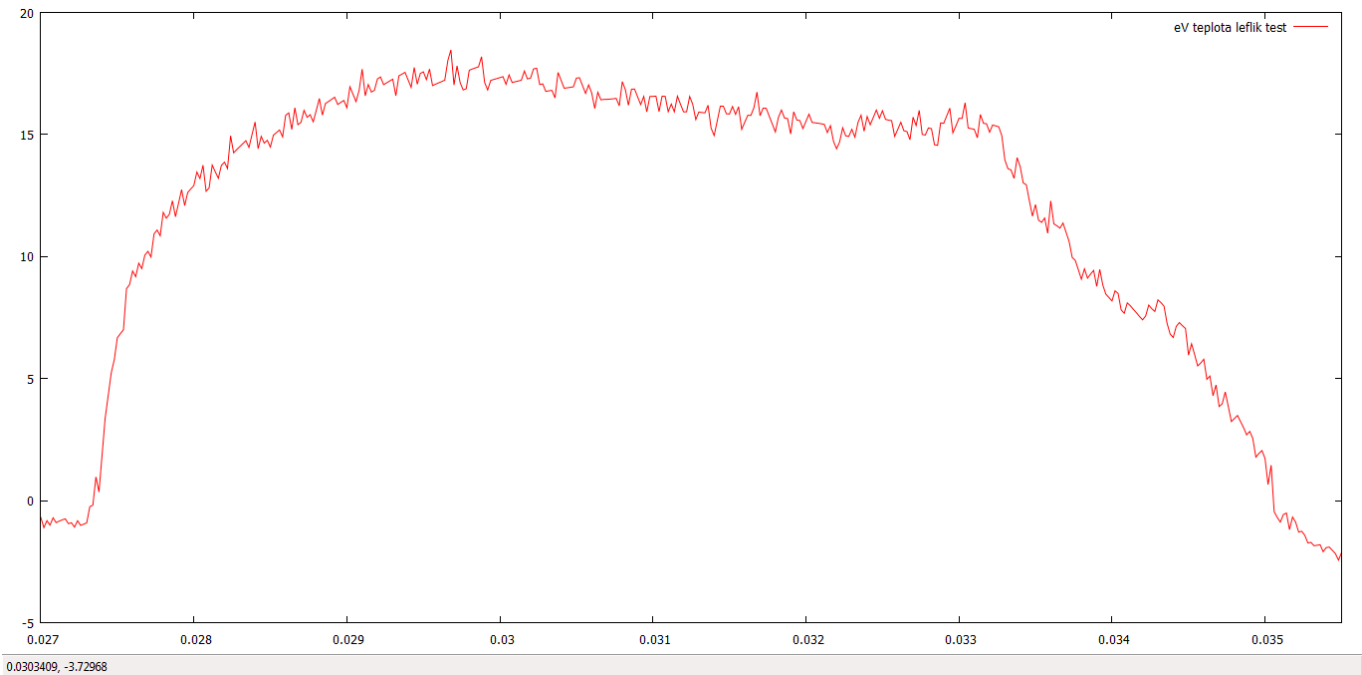


Měření odporu komory:



Výsledky

První výstřel:



Pracovní plyn: Vodík

Tlak pracovního plynu: 4 mPa

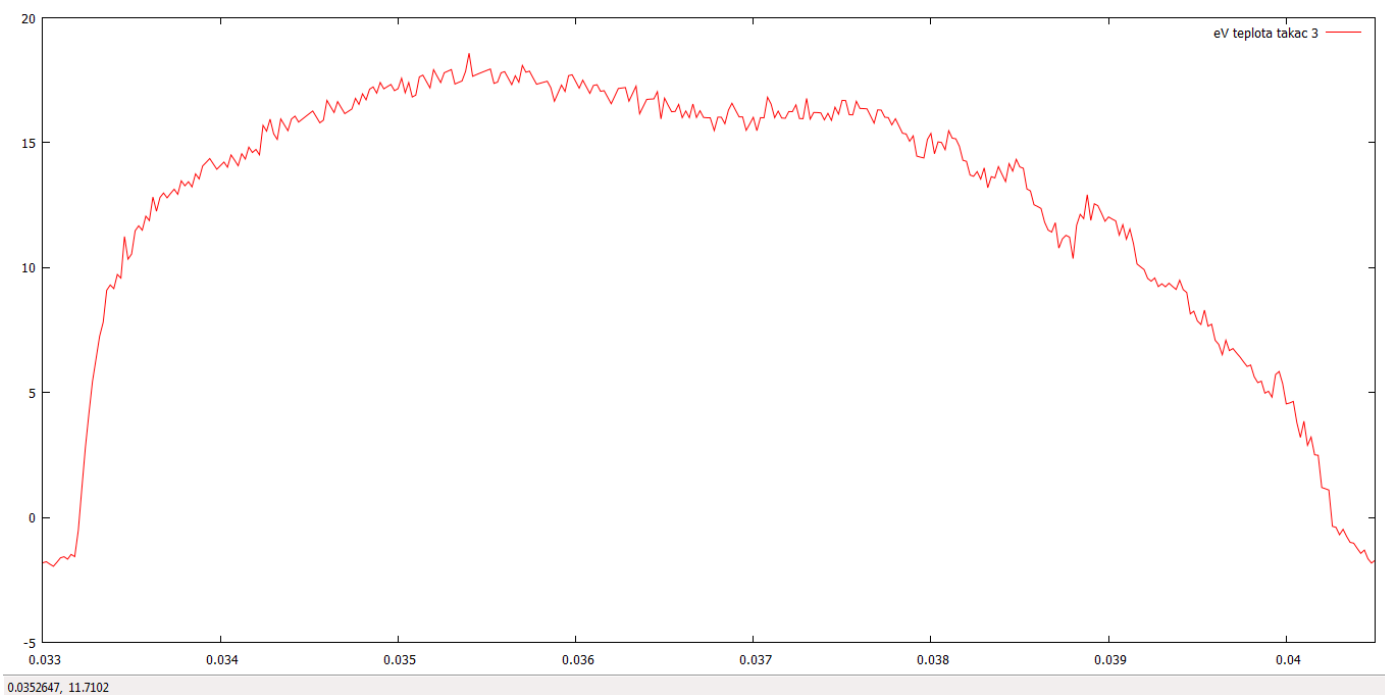
Kondenzátory toroidálního magnetického pole nabity na: 1100 V

Kondenzátory toroidálního elektrického pole nabity na: 600 V

Zpoždění vybití kondenzátorů elektrického pole: 14 ms

Nejvyšší teplota: 18,3 eV

Druhý výstřel:



Pracovní plyn: Vodík

Tlak pracovního plynu: 4 mPa

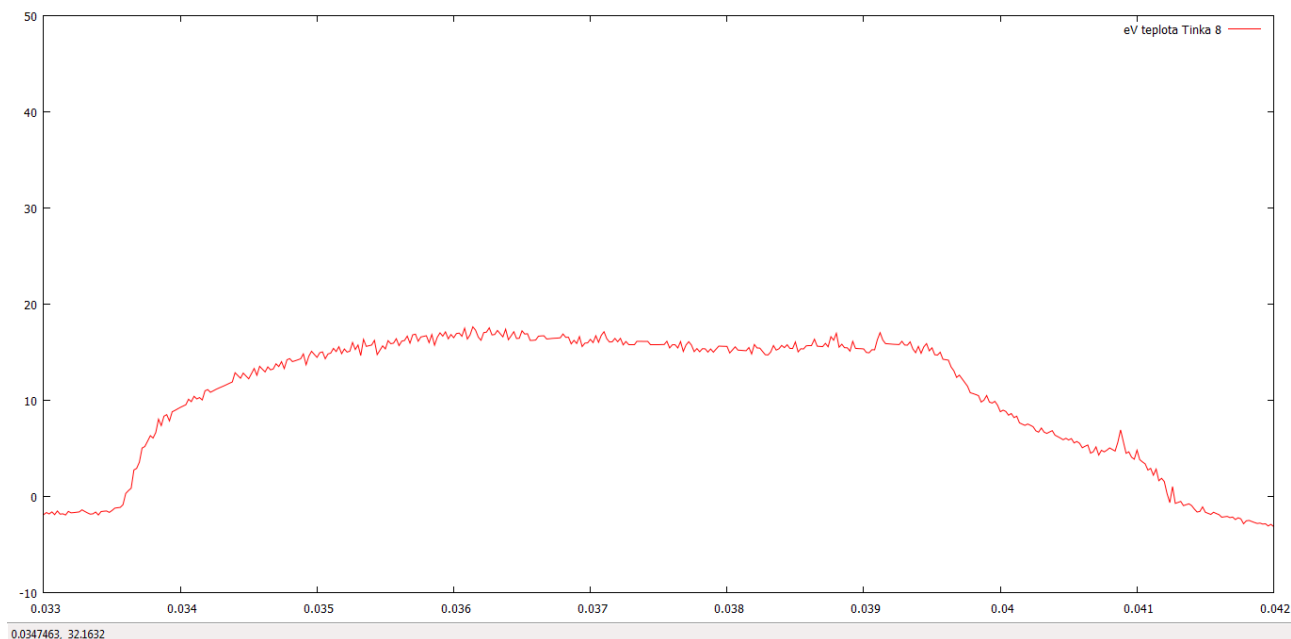
Kondenzátory toroidálního magnetického pole nabity na: 1000 V

Kondenzátory toroidálního elektrického pole nabity na: 700 V

Zpoždění vybití kondenzátorů elektrického pole: 13 ms

Nejvyšší teplota: 17,86 eV

Třetí výstřel:



pracovní plyn: Vodík

tlak pracovního plynu: 8 mPa

Kondenzátory toroidálního magnetického pole nabity na: 1100 V

Kondenzátory toroidálního elektrického pole nabity na: 600 V

Zpoždění vybití kondenzátorů elektrického pole: 13 ms

Nejvyšší teplota: 18.04 eV

Diskuse:

Z grafů vyplývá že nejvyšší elektronové teploty jsme dosáhli při prvním výstřelu. Nicméně je velice těžké z těchto výsledků vyčíst jaké je ideální nastavení parametrů. Jediné co se nám podařilo zjistit, je to, že tlak 4 mPa je asi nejlepší nastavení tlaku.

Shrnutí

Nejvyšší elektronová teplota, které se nám podařilo dosáhnout byla 18.30 eV. To by odpovídalo asi 212 000 stupňům Kelvina. Odpor komory jsme spočítali velice malý, pouze 0.01 Ohmu.

Poděkování

Děkujeme ČVUT za poskytnutí tokamaku a přilehlých prostor. Děkujeme panu Ing. Svobodovi a panu Krbcovi za pomoc s experimentem a za seznámení s tokamakem.